

LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND

Ökoloogia- ja maateaduste instituut

Geograafia osakond

Jürgen Sarjas

## **Suuremahulise terraariumi vee puhastamise võimalused**

Bakalaureusetöö keskkonnatehnoloogia erialal

Juhendaja:

Prof. Jaak Truu

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2015

## Sisukord

Sissejuhatus .....	3
1.1 Suuremahuliste terraariumite vee kvaliteet ja puhastamise võimalused .....	4
1.1.2 Nõuded terraariumi vee kvaliteedile .....	4
1.1.3 Terraariumite ja akvaariumite vee puhastamise tehnoloogiad .....	4
1.1.3.1 Mehaaniline filtratsioon .....	4
1.1.3.2 Keemiline filtratsioon.....	5
1.1.3.3 Biofiltratsioon.....	5
1.2 Veepuhastuse tehnoloogiad vesiviljeluses .....	6
1.2.1 Avatud süsteemiga vesiviljeluse vee puhastamine .....	6
1.2.2 Suletud süsteemiga vesiviljeluse vee puhastamine .....	7
1.2.3 Ökotehnoloogial põhinevate veepuhastussüsteemide kasutamine vesiviljeluses ....	9
2. Materjal ja metoodika.....	11
2.1 Terraariumi kirjeldus.....	11
2.2 Veeproovide kogumine ning analüüs .....	11
3. Tulemused .....	13
3.1 Veeproovide keemilised näitajad .....	13
4. Arutelu.....	16
5. Kokkuvõte .....	18
Summary .....	19
Tänu sõnad .....	20
Kasutatud kirjandus:.....	21
Lisad .....	23

## Sissejuhatus

Aastal 2013 valmis Sihtasutus Tartu Keskkonnahariduse Keskusel uus hoone, mis sai nimeks Tartu Loodusmaja. Tartu Loodusmaja lõunatiivas kulgeb läbi kahe korruse talveaed, kus asub kilpkonnade ja kaladega asustatud terraarium. Terraarium on varustatud veepuhastusseadmega, kuid vaatamata sellele on akvaariumis pidevalt probleeme vees vohavate vetikatega. Tartu Loodusmaja ehitamisel on kasutatud peamiselt keskkonnasõbralikke materjale ning tehnoloogiaid. Sellest tulenevalt oleks terraariumi veepuhastussüsteemiks sobilik planeerida ökotehnoloogial põhinev puhasti. Käesoleva töö eesmärk on uurida Tartu Loodusmaja kilpkonna terraariumi vee kvaliteeti ja toitainete akumulierumise kiirust, hinnata olemasoleva puhastussüsteemi puhastusvõimet ning pakkuda omapoolne võimalik veepuhastussüsteemi lahendus.

## **1.1 Suuremahuliste terraariumite vee kvaliteet ja puhastamise võimalused**

### **1.1.2 Nõuded terraariumi vee kvaliteedile**

Vastavalt Eesti Vabariigi Põllumajandusministeeriumi määrusele „Lemmikloomade pidamise nõuded“ peab terraariumi õhuniiskus, veetemperatuur ja vee kogus sobima seal peetavale loomaliigile. Vett puhastatakse ja vahetatakse vajaduse kohaselt [1]. Akvaariumi vee kriitiliseks hapnikusisalduse alampiiriks on 4,0 mg/l. Enamikele veeorganismidele sobib eluks pH vahemik 5-8. Sobivaks veetemperatuuriks on enamasti 22-27 kraadi. Ammoniaagi ideaalseks tasemeks vees võib lugeda 0,0 mg/l, üle 0,02 mg/l kontsentratsiooni puhul on olenevalt pH väärtusest ammoniaagi mõju veeorganismidele ohtlik. Nitritite ideaalne tase vees on 0,00 mg/, kontsentratsioone 0,3-0,9 mg/l loetakse saastunud veeks ja üle 0,9 mg/l on kaladele ohtlik keskkonnasaastatus. Nitraatide ideaalne tase on alla 20 mg/l, üle 100 mg/l on mittesoovitav mürgisuse pärast taimedele ja kaladele. Sobiv akvaariumivee fosfaatide sisaldus võiks jääda vahemikku 0,5-1,0 mg/l [2]. Töös uuritud terraarium on võrreldes konventsionaalse akvaariumiga, eriti suvisel ajal, tugevalt valgustatud ning seetõttu tuleks hoida fosfaadi kontsentratsioon vees alla 0,02 mg/l, et vältida vetikate vohamist akvaariumis [3].

### **1.1.3 Terraariumite ja akvaariumite vee puhastamise tehnoloogiad**

#### **1.1.3.1 Mehaaniline filtratsioon**

Mehaanilise filtratsiooni ülesanne on puhastada akvaariumivett anorgaanilistest ja orgaanilistest osakestest. Filtratsiooni käigus juhitakse akvaariumi vesi läbi filtermaterjali, milleks saab kasutada väga erinevaid sünteetilisi ja looduslikke materjale. Kõige levinumad neist materjalidest on liiv, kruus, poroloon, sünteetiline vatt, penoplast, keramsiit, marmor ja keraamika. Vastavalt filtermaterjali poorsusele tuleb filtrit puhastada, nii et see ei ummistuks [2].

### **1.1.3.2 Keemiline filtratsioon**

Keemilise filtratsiooni all mõeldakse avkvaariumivee keemilist stabiliseerimist ja ajutist mõjutamist spetsiaalsete vahenditega, mis ühelt poolt peavad vette lisama vajalikke aineid ja teiselt poolt siduma mürgaineid ja need neutraliseerima. Kõige levinum vahend akvaariumi vee puhastamiseks kahjulikest ainetest on aktiveeritud süsi. Seda kasutatakse filtrites peamiselt granuleeritud kujul, kuid levinud on ka samade omadustega söeporoloon ja –vatt. Aktiivsütt kasutatakse värvainete, lahustunud medikamentide, kloori ja osooni ning rea orgaaniliste ühendite eemaldamiseks, samuti on see efektiivne raskemetallide sidumisel. Aktiveeritud söe abil ei saa lahti ammoniaagist, nitrititest, nitraatidest ja fosfori ühenditest. Teatud elementide eemaldamiseks ja puudujäävate asendamiseks on võimalik lisada veekonditsioneere. Näiteks lisatakse puudujäägi korral akvaariumiveele kaltsiumi, magneesiumi või raua sisaldust tõstvaid konditsioneere. Fosfaatide ja vase kontsentratsioonide vähendamiseks on konditsioneerid, mis seovad nende osakesed raskesti lahustuvateks osakesteks ning neid on võimalik eemaldada mehaanilise filtreerimisega [2].

### **1.1.3.3 Biofiltratsioon**

Bioloogilise filtratsiooni all mõistetakse akvaariumivees lahutstunud ainevahetusjääkide ja kõdunevate taimeosiste laguproduktide muutmist vähemkahjulikeks, lenduvateks või taimedele ja vetikatele omastatavateks ühenditeks aeroobsete ja anaeroobsete bakterite vahetul toimel. Eriti oluline on lämmastikiringe selliste etappide nagu ammonifikatsioon ja nitrifikatsioon toimumine. Tsükkel toimub kolmes etapis, esiteks tekib orgaaniliste ühendite lagundamisel veelustikule toksiline ammoniaak. Orgaanilise aine allikateks on kalade ja kahepaiksete elutegevuse käigus tekkivad jäägid, lagunev orgaaniline materjal (taimeosad, söömatajäänud toit, surnud kalad ja bakterid). Seejärel oksüdeerivad nitrifitseerivad bakterid ammoniaagi nitritiks ( $\text{NO}_2$ ) ja seejärel nitriti omakorda nitraadiks ( $\text{NO}_3$ ). Nitraadid võidakse siduda taimedes, mis vajavad seda kasvamiseks. Taimed varustavad elutegevuse käigus akvaariumi orgaanilise aine ja lahustunud hapnikuga [2] [4].

## **1.2 Veepuhastuse tehnoloogiad vesiviljeluses**

Vesiviljelus (kasutatakse ka terminit akvakultuur) on kalade, karpide, limuste, vähkide ja veetaimede (nt vetikad) kasvatus, kasutades tehnoloogiaid, mis on mõeldud nende toodangu saamiseks suuremas mahus, kui seda võimaldaksid looduslikud keskkonnatingimused. Kasvatatakse nii mage- kui mereveelisi organisme. See on üks kiiremini kasvavaid toidusektoreid maailmas, mis juba annab meie planeedil poole kogu tarbitavast kalast [5]. Vesiviljelusmeetodid saab jagada veekasutuse põhjal kahte gruppi: avatud või suletud süsteemiga vesiviljelus. Veepuhastamine on mõlemal juhul kohustuslik, aga eriti tähtis on see suletud süsteemiga vesiviljeluse puhul, kuna süsteemist läbi käinud vesi peab uuesti pakkuma elamiskõlblikku keskkonda kultiveeritavatele organismidele.

Puhastatavas vees on vaja vähendada:

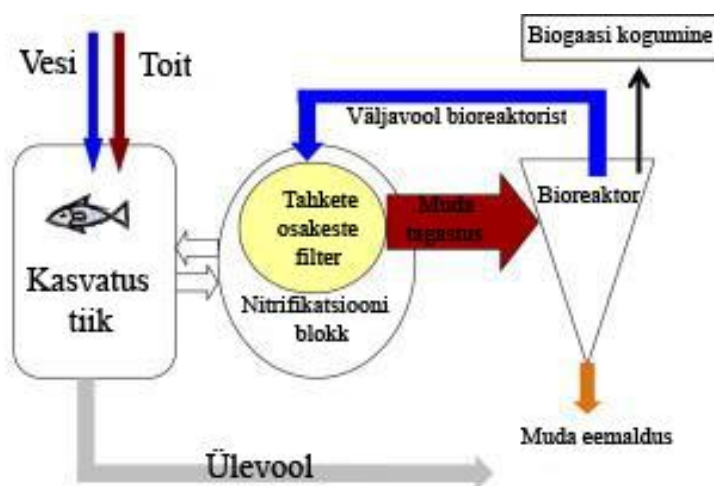
- Patogeene [6].
- Steroidide taset. Steroidid jõuavad vette kalade kaudu ja neid eritatakse rohkem, kui kalad elavad stressi olukorras, näiteks liiga tihedalt koos või kui neid käsitletakse [7].
- Orgaanilise aine kogust. Orgaanilise aine tahked osakesed on suspendeerunud veekeskkonnas [8].
- Ammoniaagi ja nitraadi kontsentratsiooni [9].

### **1.2.1 Avatud süsteemiga vesiviljeluse vee puhastamine**

Traditsioonilised vesiviljelus süsteemid on kõik avatud, see tähendab, et kasvanduses kasutatav vesi voolab läbi kasvutiikide ja siis jälle edasi looduskeskkonda. Sellise süsteemiga värske vee kasutuse maht on väga suur ja puhastatavat väljavoolu vett on väga suurtes kogustes. Väljavoolava vee puhastamisel on kitsas kohaks see, et vee kvaliteedi näitajad on kõrgemad kui lubatud normid, aga veepuhastussüsteemide jaoks on sellised kontsentratsioonid väga madalad ja tavalisi reovee puhastamise tehnoloogiaid vee puhastamiseks on väga keeruline kasutada. Järjest karmistuvad ettekirjutused viljelussüsteemist väljuvale veele on üheks põhjuseks, miks üha enam avatud süsteemiga kasvandused teevad oma süsteemi ümber ja lähevad üle suletud süsteemile, mille väljavoolu vee kogused on väiksemad ja reoainete kogused kontsentreeritumad. Kõige arenenumad suletud süsteemid kasutavad ainult murdosa värsket vett võrreldes avatud süsteemidega, kuna 95 % vett on taaskasutuses [10].

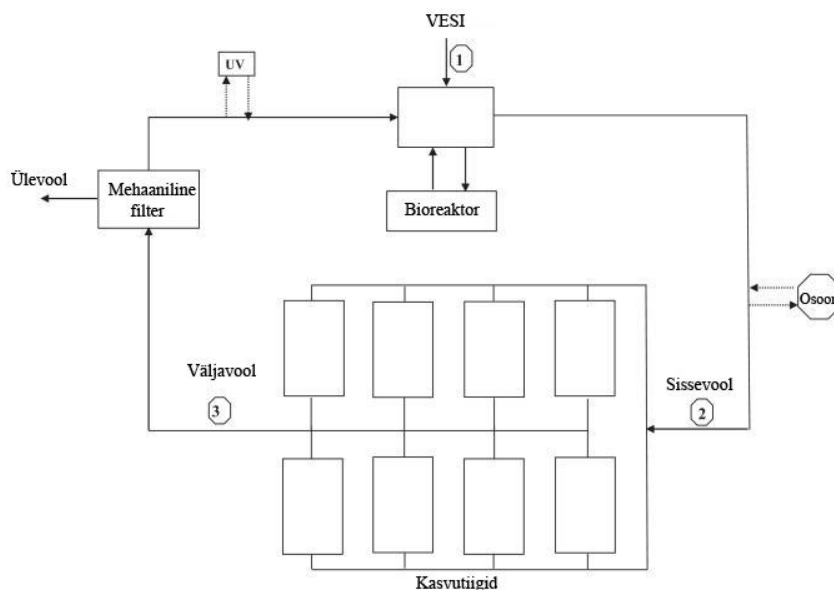
### 1.2.2 Suletud süsteemiga vesiviljeluse vee puhastamine

Suletud vesiviljeluse süsteemidel on mitmeid lahendusi vee puhastamiseks, aga põhilised komponendi jäävad sarnaseks. Kasvatusbasseinidest välja voolav veest eemaldatakse kõigepealt tahked osakesed, kas mehaaniliste filtrite või settetiigis settimisega. Tahked osakesed suunatakse edasi bioreaktoritesse, kus toimuvad orgaanilise aine lagunemine ja denitrifikatsioon. Vastavalt süsteemi ehitusele läbib vesi kas veel lisapuhastuse, näiteks tehismärgalast läbijuhtimisega, või segatakse bioreaktoritest tuleva veega. Pärast seda läbib vesi vastavalt süsteemi ülesehitusele patogeenidest puhastamise etapi, näiteks UV kiirguse või osooni abil. Viimase etapina tõstetakse olenevalt vajadusest vees hapniku sisaldust, näiteks sundaereerimisega või passiivse aereerimise lahendusega [6] [8] [9].



Joonis 1. Näide bioreaktoriga suletud vesiviljeluse süsteemist [11].

Joonisel 1 on näidatud bioreaktoriga (anaeroobne ülesvooluga heljuvkihtprotsessi reaktor) ja suletud veesüsteemiga vesiviljeluse süsteemi. Kasvatustiigi läbinud vesi filtreeritakse ja juhitakse seejärel läbi bioreaktori. Mehaanilise filtriga kogutakse süsteemist kergesti settuv orgaaniline aine ja seda kasutatakse bioreaktoris aktiivmuda uuendamiseks. Bioreaktoris lagunemisprotsessi läbi teinu muda eemaldatakse süsteemist. Puhastusprotsessi läbinud vesi juhitakse tagasi kasvatusbasseini. Bioreaktori kasutamise eelised on selle kompaktsus, lihtsus, madalad töökulud, kõrge efektiivsus ja biogaasi tootmine, millega saab süsteemi töökulusid ja ökoloogilist jalajälge veelgi vähendada [11].



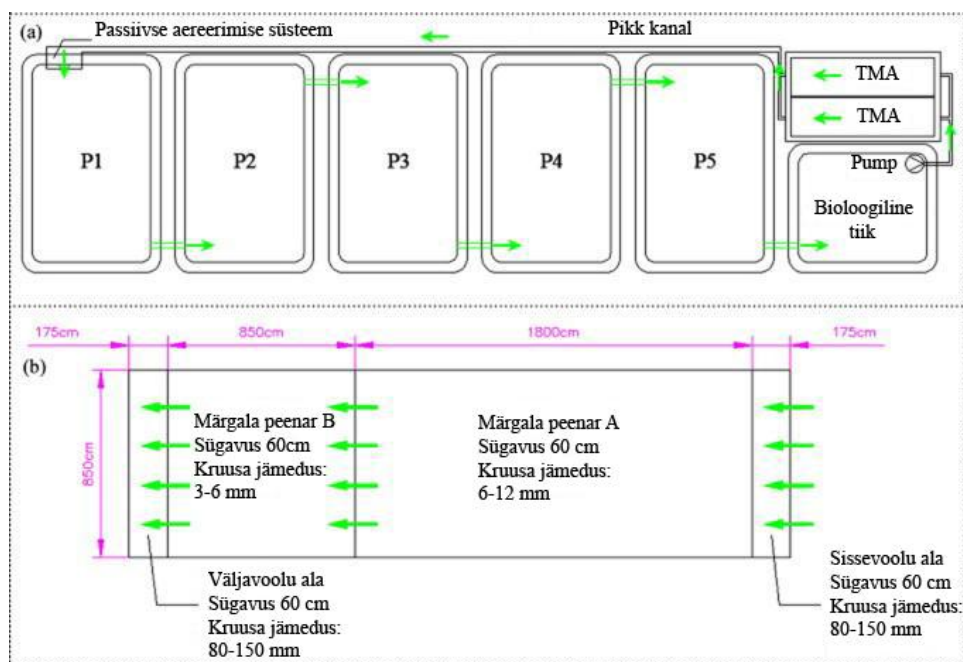
**Joonis 2.** Ultraviolettfiltri (UV) ja osooni kasutamise vee taaskasutusega vesiviljelus süsteem [7].

Joonisel 2 on välja toodud ultraviolettfiltri ja osooni kasutamise võimalikud kohad patogeene hävitamiseks. Osooni genereeritakse osonaatoriga ning seejärel juhitakse see läbi puhastatava vee. Osoon hävitab vees baktereid, päristumseid parasiite ja viiruseid. Viirused on näidanud suuremat vastupanu osoneeritud veele, aga piisava kontaktajaga suudab osoon siiski viirused hävitada [12]. Osoneerimisega võivad tekkida orgaanilise aine oksüdeerimise tulemusena toksilised jääkproduktid. Seega kui veepuhastussüsteemi liiga hilises etapis osoneeritud vesi jõuab kasvatustiikidesse, surevad ka kalad. Süsteem tuleb planeerida nii, et osoon suudab enne kaladeni jõudmist veest väljuda. Lisaks desinfitseerivale toimele toimib osoon ka koagulandina, mille abil väikesed orgaanilised aineosakesed kogunevad suuremateks. Seejärel on neid võimalik filtriga veest eemaldada ning lisaks sellele oksüdeerib osoon orgaanilist ainet. Seega peaks vett osoneerima enne filtreerimist, et ära kasutada osooni erinevad mõjud vee koostisele [12]. UV-reaktorit kasutatakse vees olevate patogeene hävitamiseks. Reaktorist juhitakse läbi õhuke veekiht, mida eksponeeritakse UV-valgusele. Veekihi paksus oleneb sellest, kui võimsaid UV-lampe kasutatakse. Mida võimsamad lambid, seda paksema veekihi suudab seade patogeenidest edukalt ohutuks kiiritada. UV-reaktori kasutamise eelised on odavus ning UV mõjul vees toimuvad reaktsioonid jätavad osakesed edasi reageerimiseks inaktiivseks ja seetõttu ei teki elusorganismidele ohtlikke järelprodukte [6].



### 1.2.3 Ökotehnoloogial põhinevate veepuhastussüsteemide kasutamine vesiviljeluses

Tehismärgala integreerimisel suletud vesiviljelus süsteemi saab kasvatatava biomassi lõppsaagikust tõsta isegi kuni 40%. Ilma tehismärgalata süsteemides tõusevad nitraadi ja ammoniaagi kontsentratsioonid tootmise lõppfaasis, kui tiikides on kultiveeritavate organismide biomassi tase tõusnud kõrgele, potentsiaalselt letaalsele tasemeteni. Tehismärgala integreerimisel suletud vesiviljelus süsteemi on potentsiaal tõsta tootlikust ilma opereerimise kulude ja keskkonna koormuse suurenemiseta [13].



Joonis 3. Näide tehismärgaladega suletud vesiviljeluse süsteemist [8].

Joonisel 3 on näide tehismärgaladega suletud vesiviljeluse süsteemist (a), kus P1 on staatiline kontrolltiik, P2-P5 on kasvatustiigid. Tiigid on umbes 1000 m<sup>2</sup> suurused, keskmise sügavusega 1,5 m ning põhja katab mudakiht. Veeringlusega tiigid (P2 kuni P5) on ühendatud veetorudega, mis on 50% kalde all, et tagada ülemiste ja alumiste veekihtide segunemine, millega parandatakse passiivset aeratsiooni. Kontrolltiigis on staatilised tingimused, et võrrelda ringleva süsteemi näitajaid staatilise omadega. Pärast kasvatustiikide läbimist liigub vesi bioloogilisse settetiiki, mis pakub vee eeltötlust enne tehismärgaladesse juhtimist. Bioloogilisse tiiki istutati tuskaroora vesirii (Zizania aquatica) ja harilik pilliroog (Phragmites australis) ning seal elutseb 45 pakslauk karpkala ja 15 jämepea karpkala. Need taimed aitasid tahketel osakestel settida ja kalad aitasid hoida settetiigi ökoloogilist tasakaalu.

Tehismärgalade skeemid on välja toodud Joonis 3 b-osas. Antud juhul on tegemist horisontaalse veevooluga tehismärgaladega. Kasutatud taimed on India kann (Canna indica), katus-iiris (Iris tectorum), harilik kalmus (Acorus calamus), papüürus-lõikhein (Cyperus papyrus) ja (Thalia dealbata). Märgalad koosnevad neljast osast, mille kõigi sügavus on 60 cm. Esimene on sissevoolu ala, kus kasutati jämedat kruusa mille osakeste suurus jääb vahemikku 80-150 mm. Märgala peenras A kasutati kruusa, mille läbimõõt jääb vahemikku 6-12 mm. Märgala peenar B on täidetud veel peenema kruusaga, mille osakeste läbimõõt on 3-6 mm ning seejärel on väljavoolu ala, kus kasutati samajämedust kruusa, kui sissevoolu alas. Erineva jämedusega kruus pakub kasvukeskonda taimedele ja bakteritele. Bakterid moodustavad kruusa osakestele biokile ja teostavad põhilised veepuhastuse protsessid. Mida peenem on kruus, seda suurem kruusa osakeste eripind ja seda rohkem kasvupinda on bakteritel. Kõige suurem on bakterite kontsentratsioon kruusa sisse istutatud taimede juurte ümber. Juurte kaudu saavad taimed veest kätte mineraalse lämmastiku ja bakterid saavad taimelt vastu toitaineid ja hapniku. Pärast tehismärgalast väljumist on hapniku sisaldus vees kasvutiikides taaskasutuseks liiga madal ning vesi juhitakse läbi pika kanali, mille lõpus on paisude ja astmete süsteem, mis tagab vee piisava passiivse aereerimise. Seejärel jõuab vesi ringiga tagasi kasvatustiikidesse [8]. Süsteemil lasti kaks kuud aklimatiseeruda ning bakteritel ja taimedel kasvada, seejärel teostati süsteemi puhastusvõime hindamine. Pärast puhasti läbimist oli väljvoolava vee temperatuur natuke kõrgem, kui sisse voolanud veel, sammuti langes pH ja hapniku sisaldus vees. Sellise puhastussüsteemi tulemusena langes väljavoolavas vees lämmastiku (TN) kontsentratsioon aastal 2006  $34.6 \pm 16.0$  protsenti ja aastal 2007  $35.6 \pm 13.0$  protsenti. Fosfori (TP) kontsentratsioon vähenes aastal 2006  $40.4 \pm 12.2$  protsenti ja aastal 2007  $46.2 \pm 11.0$  protsenti. Keemiline hapniku tarve vähenes aastal 2006  $50.1 \pm 13.8$  protsenti ja aastal 2007  $52.0 \pm 21.8$  protsenti.

## 2. Materjal ja metoodika

### 2.1 Terraariumi kirjeldus

Tartu loodusmaja terraariumis elavad 3 punakõrv-ilukilpkonna (*Trachemys scripta elegans*), 2 kollakõrv-ilukilpkonna (*Pseudemys scripta scripta*) ja kalad (gupid - *Poecilia reticulata*). Terraarium koosneb veemahutist ruumalaga umbes 1,8 m<sup>3</sup> ja väikesest maismaa osast, kus kilpkonnad saavad käia puhkamas. Koos terraariumi rajamisega ehitati ka puhasti (Joonis 4). Puhasti koosneb mehaanilisest allavoolu filtrist (1), mehaanilisest ülesvoolu filtrist (2), nõrgfiltrist (3) ja väljavoolukanalist (4), mis teeb tiiru ümber filtreid ja lõpuks väljub vesi akvaariumi poolsest otsast. Väljavoolu kanalis on paigutatud kasvama taimed, aga kuna



Joonis 4 Tartu loodusmaja kilpkonnaterraariumi vee olemasolev puhasti. 1 - mehaaniline allavoolu filter, 2 – mehaaniline ülesvoolu filter, 3 – nõrgfilter, 4 – väljavoolukanal. Puhasti mõõdud: pikkus 120 cm, laius 38 cm, kõrgus 50 cm.

need on jäetud savipottidesse, siis on taimede kontakt veega minimaalne. Tänu savipottidele saavad taimed ligi ainult väiksele osale toitaineitele, mida oleks vaja veest eemaldada. Puhasti koormus on ca 10L vett minutis.

### 2.2 Veeproovide kogumine ning analüüs

Veeproovid koguti akvaariumi veepuhasti sisse ja väljavoolust kord nädalas, ajavahemikul 04.02.15- 18.03.15. Veeproovidest määrati kohapeal hapniku kontsentratsioon, temperatuur ja pH YSI dektektoriga. Laboris määrati veeproovidest üldise ja lahustunud orgaanilise süsiniku ning üldlämmastiku kontsentratsioon kasutades autoanalüsaatorit Vario (Elementar GmbH,

Saksamaa), autoanalüsaatorit. Ammoniaagi, nitraadi, fosfaadi ja üldfosfori tase määrati spektrofotomeetril DR2800 (Hach-Lange) töö koostaja poolt. Kogutud andmete analüüsimiseks kasutati tabelarvutusprogrammi Excel.

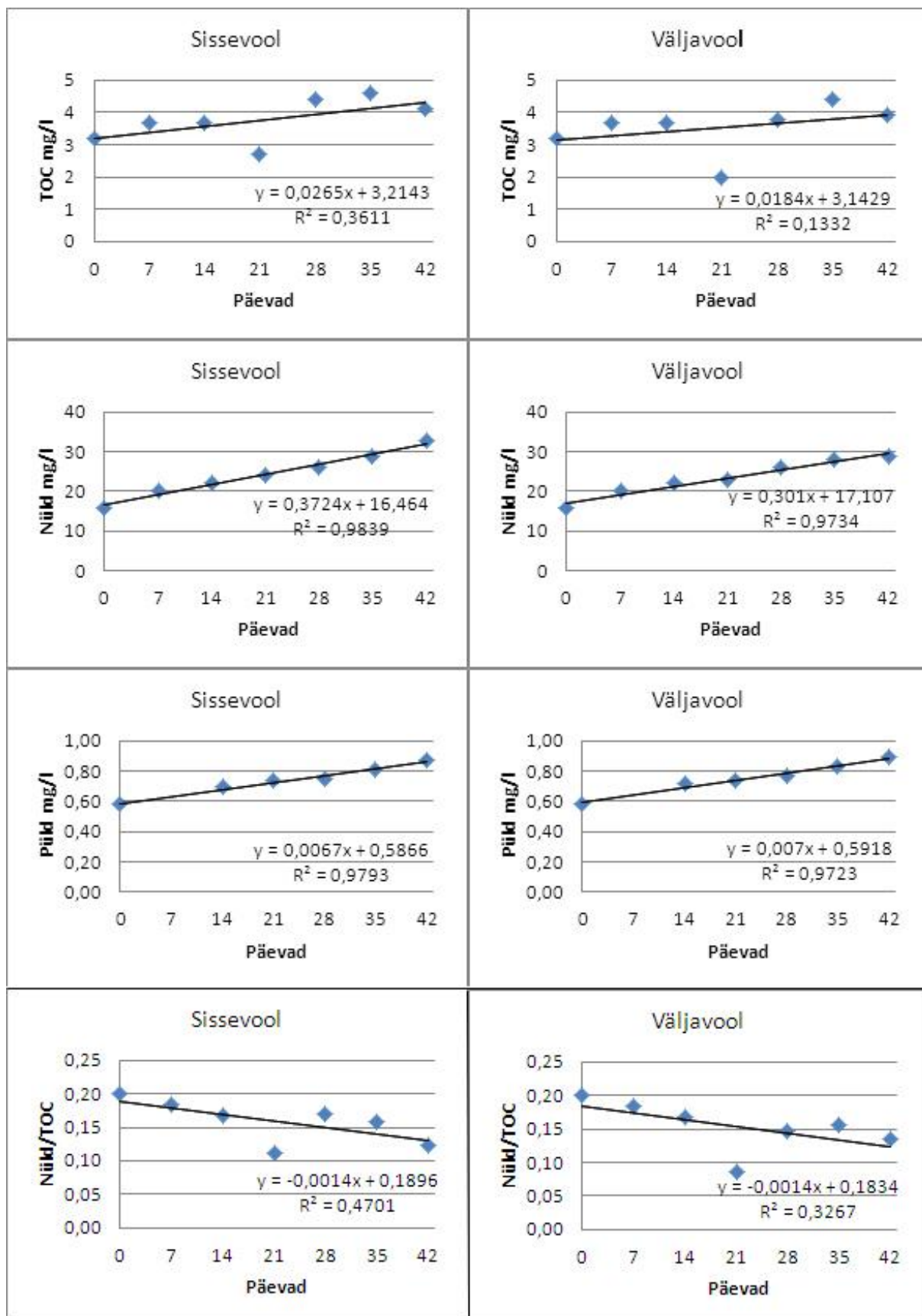
### 3. Tulemused

#### 3.1 Veeproovide keemilised näitajad

Tabel 1. Veeproovide temperatuur, pH ja hapniku kontsentratsioon kilpkonnakavaariumi veepuhasti sisse- ja väljavoolus perioodil 04.02.15- 18.03.15.

Aeg (päev)	Puhastussüsteemi sissevool			Puhastussüsteemi väljavool		
	Temperatuur	pH	Hapniku konts. mg/l	Temperatuur	pH	Hapniku konts. mg/l
0	21,6	7,64	5,8	21,9	7,60	5,5
7	22	7,58	5,6	22,3	7,53	5,5
14	21,3	7,72	5,0	21,4	7,75	5,1
21	21,2	7,52	5,4	21,6	7,65	5,6
28	21,7	7,49	4,9	22	7,43	4,9
35	21,9	7,60	5,0	21,8	7,67	5,1
42	21,5	7,54	5,8	21,9	7,56	5,7
Keskmine	21,6	7,58	5,36	21,8	7,60	5,34
Standardhälve	0,3	0,08	0,39	0,3	0,10	0,30

Vee temperatuur, pH ja hapniku kontsentratsioonid olid ajas suhteliselt püsivad nii puhasti sisse- ja väljavoolus (Tabel 1). Võrreldes sissevooluga oli väljavoolu temperatuuril väikene tõus. Vee pH väärtus ja hapniku kontsentratsioon puhastis ei muutunud.



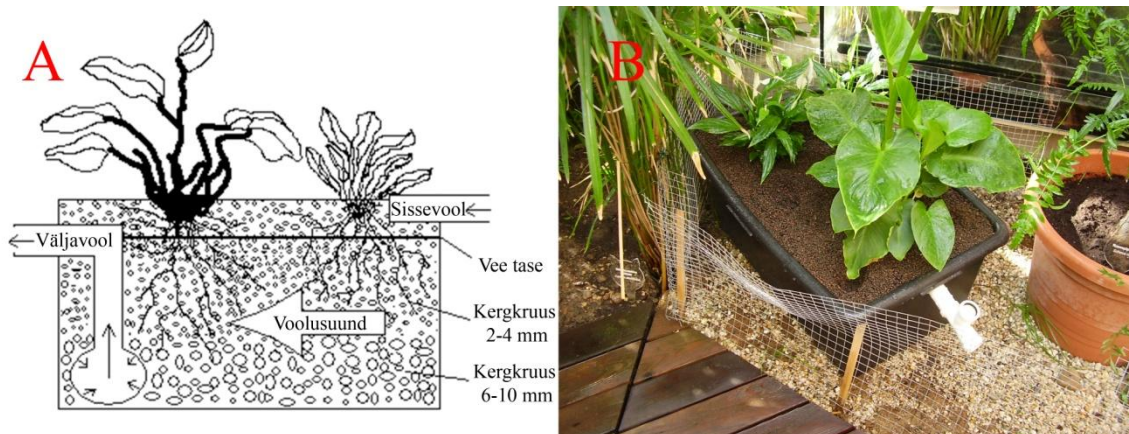
Joonis 5. Üldise orgaanilise süsiniku (TOC), üldlämmastiku (Nüüd), üldfosfori (Püüd) ning üldlämmastiku ja üldise orgaanilise süsiniku suhte (Nüüd/TOC) ajaline dünaamika Tartu loodusmaja kilpkonnakavaariumi puhasti sisse- ja väljavoolu vees perioodil 04.02.15- 18.03.15.

Joonisel 5 on esitatud üldise orgaanilise süsiniku, üldlämmastiku, üldfosfori ning üldlämmastiku ja üldise orgaanilise süsiniku suhte ajaline dünaamika Tartu loodusmaja kilpkonnakavaariumi puhasti sisse- ja väljavoolu vees. Nii puhastis- sissevoolavas kui ka väljuvas vees toimub üldise lämmastiku ja fosfori koguse suurenemine ajas. Üldise lämmastiku sisaldus suurenes keskmiselt 0.37 mg liitri kohta ööpäevas ja üldise fosfori sisaldus suurenes keskmiselt 0.007 mg liitri kohta ööpäevas. Nitraat moodustas üldlämmastikust 87-100% ja fosfaat üldfosforist 100%. Üldisest lämmastikust eemaldati puhastis keskmiselt 3% ja üldisest fosforist 0%. Üldise orgaanilise aine kogus vees suurenes samuti ajas, kuid see muutus oli nõrgemalt seotud ajaga kui üldise lämmastiku ja fosfori puhul. Üldlämmastiku ja üldise orgaanilise süsiniku suhe vees vähenes ajas.



## 4. Arutelu

Töö käigus kogutud veeproovide põhjal saab väita, et praegune veepuhastussüsteemi puhastusvõime on väga madal, peaaegu et olematu. Süsteem toimib vähesel määral mehaanilise filtrina, kogudes filtermaterjalile orgaanilist ainet. Põhiosa lämmastikust on akvaariumi vees nitraadi kujul, mis osutab sellele, et orgaanilisest ainest pärinev ammoniaak oksüdeeritakse akvaariumis nitrifitseerivate bakterite poolt täielikult nitraadiks. Fosfor esineb vees peamiselt fosfaadina, mis näitab et orgaanilise aine mineraliseerumine toimub akvaariumivees kiiresti. Praegusel hetkel hoiab akvaariumi vee parameetrid lubatud piirides perioodiline vee vahetus. Et vähendada vee vahetuse vajadust valmis 23. aprillil 2015 töö tulmusena pilootveepuhastussüsteem - horisontaalvooluga taimestatud pinnasfilter, mis on täidetud kergkruusaga (Joonis 6). Filtersüsteem täideti kergkruusaga kahes kihis. Ülemises



**Joonis 6. Pilootveepuhastussüsteem – taimestatud horisontaalvooluline pinnasfilter. A) pilootveepuhastusseadme skeem B) pilootveepuhastusseadme foto.**

kihis kasutati kergkruusa, mille läbimõõt on 2-4 mm ja alumises kihis kergkruusa, mille läbimõõt on 6-10 mm. Pinnasfiltri mahuti maht on 80L, pikkus 75 cm, laius 40 cm ja kõrgus 30 cm. Veetase on 5 cm madalamal kui mahuti ülemine pind. Pinnasfiltris kasvab üks harilik kalla (*Zantedeschia aethiopica*) ja kaks õiekat tõlvlehikut (*Spatiphyllum floribundum*). Pilootseade peab veel umbes kuu aega aklimatiseeruma ja siis saab selle ühendada akvaariumi veesüsteemi. Vee viibeajaks puhastis on planeeritud 48 tundi. Pinnasfiltri peamiseks eesmärgiks on vähendada lämmastiku kontsentratsiooni vees. Filtri puhastusvõimet hakkab limiteerima süsiniku ja lämmastiku suhe, kuna täielikuks lämmastiku denitrifikatsiooniks peaks see suhe jääma vahemikku 1,5-5 [14]. Antud akvaariumi vees jääb see suhe alla 0,5. Selle suhte suurendamiseks istutati pinnasfiltrile taimed, mis juurte kaudu eritavad puhastatavasse vette orgaanilisi ühendeid (juureeritised) [15]. Samuti on täiendavaks orgaanilise aine allikaks dentrifitseerivatele mikroobidele taimede peenjuured, mille eluiga on



ca 1 ööpäev. Pilootseadme veeproovide uurimisel saadavate tulemustega alusel saab kujundada vajalikus suuruses puhastussüsteemi. Lõplik puhastussüsteem peaks aeglustama nitraadi akumulatsiooni vees ning vähendama veevahetuse vajadust. Vähesel määral kasutavad antud pinnasfiltris kasvavad taimed elutegevuseks ka fosforit, kuid täielikuks fosfori eemaldamiseks akvaariumiveest on vaja lisada süsteemi eraldi filter. Tehismärgalades kasutatakse fosfori eemaldamiseks veest kahte lahendust, esiteks fosfori sidumine orgaanilise materjali koosseisu [16] ja teise lahendusena fosfori lahustumatu fosfaadina sadestamist [17]. Antud puhul ei saa kasutada aktiivseid filtersüsteeme fosfori eemaldamiseks veest, mis tavaliselt on täidetud aluselise materjaliga kuna see muudab vee pH taset, mis ei ole kilpkonnade elutegevuseks sobilik [18].

## **5. Kokkuvõte**

Tartu Loodusmaja akvaariumist ja selle puhastist kogutud veeproovide põhjal saab väita, et hapniku, pH ja temperatuuri tasemed on akvaariumis püsivad. Nitraadi, fosfori ja orgaanilise aine kogused akumulēruvad akvaariumi vees. Lābiviidud veeproovide analūis tōestas, et olemasolev puhastussūsteem ei tāida oma eesmārki. Vee puhastusprotsesse seal ei toimu. Tōō kāigus rajati pilootseade – taimestatud horisontaalvooluline pinnasfilter akvaariumi vee puhastamiseks. Pilootseadme veeproovidest saadavate andmete alusel saab hinnata, kas taimestatud pinnasfilter oleks sobilik lahendus alternatiivse veepuhastussūsteemi rajamiseks. Akvaariumi veest fosfori eemaldamise vōimalused vajavad tāiendavat uurimist.

# **Water treatment options for large-scale terrarium**

Jürgen Sarjas

## **Summary**

Water samples collected from Tartu Environmental Education Centre's aquarium inhabited with gliders and fish and from its water treatment system were analysed in this study. Based on obtained data the conclusion could be made that oxygen, pH and temperature levels in the aquarium's water are stable. Nitrate, phosphate and organic matter are accumulating in the aquarium's water. The conducted analysis of water samples showed that the existing treatment system does not meet its goal as removal efficiencies for nutrients are near zero. During the study a pilot water treatment system (planted subsurface horizontal flow constructed wetland) was constructed. Further analysis of water samples from the pilot water treatment system will show if a planted subsurface horizontal flow constructed wetland is a suitable solution for alternative water purifying system. Phosphorus removal options from the aquarium's water require further study.

## **Tänu sõnad**

Soovin tänada Tartu Loodusmaja (Tartu Keskkonnahariduse Keskus, Janika Ruusmaa ja Ilmar Part) võimaluse eest uurida nende kilpkonnakavaariumi ja selle veepuhastusseadet. Samuti tänan Tartu Ülikooli Ökoloogia ja maateaduste instituudi geograafia osakonna spetsialisti Mae Uri veeproovide üldise orgaanilise süsiniku ja üldlämastiku analüüside eest ja sama osakonna doktoranti Kuno Kasakut abi eest pilootveepuhastusseadme ehitamisel. Eriti suured tänud keskkonnatehnoloogia professor Jaak Truule väga oskusliku juhendamise ja hea koostöö eest.

## Kasutatud kirjandus:

- [1] Riigi Teataja, „Lemmikloomade pidamise nõuded,“ määrus, 24.07.2008. [Võrgumaterjal]. <https://www.riigiteataja.ee/akt/13006944>.
- [2] P. Päkk, Akvaariumiteaduse Käsiraamat, Tartu: Halo Kirjastus, 2005.
- [3] Wikipedia, „Trophic state index,“ viimati uuendatud 06.04.2015. [Võrgumaterjal]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Trophic\\_state\\_index](http://en.wikipedia.org/wiki/Trophic_state_index).
- [4] G. Sandford, Akvaariumiomaniku käsiraamat, Varrak, tõlkinud: Bertil Tüvi, 2006.
- [5] „Kalanduse teabekeskus,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.kalateave.ee>.
- [6] H. Mamane, A. Colorni, I. Bar, I. Ori ja N. Mozes, „The use of an open channel, low pressure UV reactor for water treatment in low head recirculating aquaculture systems (LH-RAS),“ *Aquacultural Engineering*, 42, 3, 103–111, 2010.
- [7] V. C. Motaa, C. I. Martins, E. H. Eding ja J. A. Verreth, „Steroids accumulate in the rearing water of commercial recirculating aquaculture systems,“ *Aquacultural Engineering*, 62, 9-16, 2014.
- [8] S.-Y. Zhang, G. Li, H.-B. Wu, X.-G. Liu, Y.-H. Yao, L. Tao ja H. Liu, „An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production,“ *Aquacultural Engineering*, 45, 3, 93-102, 2011.
- [9] K. I. Suhr, L. F. Pedersen ja J. L. Nielsen, „End-of-pipe single-sludge denitrification in pilot-scale recirculating aquaculture systems,“ *Aquacultural Engineering*, 62, 28-35, 2014.

- [10] A. Jokumsen ja L. M. Svendsen , „Farming of Freshwater Rainbow Trout in Denmark“. DTU Aqua report No. 219. Charlottenlund. National Institute of Aquatic Resources, Technical University of Denmark, 47 , 2010.
- [11] N. Mirzoyan ja A. Gross, „Use of UASB reactors for brackish aquaculture sludge digestion under different conditions,“ *Water Research*, 47, 8, 2843–2850, 2013.
- [12] A. A. Gonçalves ja G. A. Gagnon, „Ozone Application in Recirculating Aquaculture System: An Overview,“ *Science & Engineering*, 33, Ozone, 345-367, 2011.
- [13] M. Buřič, J. Bláhovec ja J. Kouřil, „Back to the Roots: The Integration of a Constructed Wetland into a Recirculating Hatchery - A Case Study,“ *PLoS One*, avaldatud internetis 08.04.2015 .
- [14] N. Bernet, N. Delgenes ja R. Moletta, „Denitrification by Anaerobic Sludge in Piggery Wastewater,“ *Environmental Technology*, 17, 3, lk. 293-300, 1996.
- [15] J. Truu, M. Truu, M. Espenberg, H. Nõlvak ja J. Juhanson, „Phytoremediation and plant-assisted bioremediation in soil and treatment wetlands,“ *The Open Biotechnology Journal*, in press, 2015.
- [16] K. Rogers, P. Breen ja A. Chick, „Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of aquatic plants,“ *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*, 63, 7, 934–941, 1991.
- [17] J. Mitsch ja J. Gosselink, *Wetlands*, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.
- [18] C. Vohla, M. Kõiv, H. J. Bavor, F. Chazarenc ja Ü. Mander, „Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands—A review,“ *Ecological Engineering*, 37, 1, 70–89, 2011.

## Lisad

Joonis L1. Tartu loodusmaja kilpkonnaakvaarium ja selle veepuhastusseade.



## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Jürgen Sarjas,

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Suuremahulise terraariumi vee puhastamise võimalused“,

mille juhendaja on Jaak Truu,

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
- 
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
  
  3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **18.05.2015**